

**AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS EMISSÕES  
ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMA DE BIOMAS-  
SA NO ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016.**

**Jessica Priscila Sperandio**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

JESSICA PRISCILA SPERANDIO

**AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS EMISSÕES  
ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMA DE BIOMAS-  
SA NO ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambien-  
tal da Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do Grau de Engenheira Sani-  
tarista e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Hoinaski.

Florianópolis

2018


JESSICA PRISCILA SPERANDIO

**AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS EMISSÕES  
ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMA DE  
BIOMASSA NO ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de “Bacharel”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 26 de Junho de 2018.

**Banca Examinadora:**



Prof., Dr. Leonardo Hoinaski  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof., Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe,  
Membro da banca

Universidade Federal de Santa Catarina



Ana Letícia Araujo de Aquino Bertoglio  
Membro da banca

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sperandio, Jessica Priscila  
AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS EMISSÕES  
ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMAD DE BIOMASSA NO  
ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016. / Jessica  
Priscila Sperandio ; orientador, Leonardo  
Hoinaski, 2018.  
64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. poluição  
atmosférica. 3. queima de biomassa. 4. inventário  
de emissões. 5. uso do solo. I. Hoinaski, Leonardo.  
II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III.  
Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, que não mediu esforços para que este e tantos outros sonhos virassem realidade.

Aos professores, que ensinavam com brilhos nos olhos, e nos ensinaram além do conteúdo, a paixão pela função que desempenhamos, e que muitas vezes se mostraram mais como mentores do que como professores apenas. Em especial, professora Nadia Bonuma, professor Pablo Sezerino, professor Leonardo Hoinaski, professor Fernando Mortari, professor Lauro Nicolazi, professor Amir Martins, e tantos outros que agora não me recordo.

Ao meu orientador, que foi impecável em todos os momentos, sempre demonstrando sabedoria e mantendo uma relação leve e sadia durante todo o período de orientação.

Aos amigos de uma vida que compreendiam os meus sumiços durante cada período de provas e trabalhos e que sempre foram fonte de força e alegria: Amanda, Cristini, Flávio, Leonardo e Nicolas.

Aos amigos feitos durante o período de graduação que estiveram comigo na alegria e na tristeza, tornando tudo mais leve: Alice, Débora Horn, Débora Zanghelini, Jaqueline, Laís, Luiza, Mirele, Miriam, Nicole, Paula, Paulo, Robson, Thiane, e demais.

Como disse Sid Aguiar: “A missão é árdua, o caminho é duro, a oposição é grande, mas só os valentes conseguem chegar.”

*“A Terra fornece o suficiente para satisfazer a necessidade de todos, mas não a ganância de cada um.”*

*Mahatma Gandhi*

## RESUMO

O Brasil encontra-se atualmente entre os dez países que mais emitem poluentes na atmosfera, principalmente pelo uso de combustíveis fósseis e uso do solo para a agricultura. A queimada, prática comum na agricultura para manejo do solo antecedente ao novo plantio, é uma atividade de grande impacto para a qualidade do ar. Esta emite principalmente material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrocarbonetos e aldeídos, afetando diretamente a saúde da população de entorno. Baseado nessas informações este trabalho tem como objetivo principal avaliar a variabilidade espacial e temporal das emissões atmosféricas causadas pela queimada de biomassa em Santa Catarina no ano de 2016. Para tanto, foram utilizados o modelo FINN do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas dos Estados Unidos e ferramentas de georreferenciamento. Dentre os principais resultados encontrados, está a colocação do estado de Santa Catarina em décimo lugar entre os estados brasileiros com maior número de focos de calor detectados. A maior concentração desses focos aparece nas regiões serrana e oeste, com forte atividade agrícola e pecuária. Os resultados apontam ainda que a cobertura vegetal mais atingida é normalmente composta por savanas e florestas e uma vegetação classificada como mosaico de paisagem natural e pastagem, indiciando o uso da queima do solo para atividades agrícolas e pecuárias como principal causadora dos focos detectados e suas consequentes emissões atmosféricas.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica, estimativa de emissões, queimadas, uso do solo, FINN.

## ABSTRACT

Brazil is today one of the ten main countries emitting pollutants to the atmosphere, especially through the use of fossil fuels and biomass burning in agriculture. The burning activity, common practice in agriculture for the preparation of soil before the planting season, causes great impact to the air quality, releasing mainly particulate matter (PM), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), hydrocarbons and aldehydes, affecting directly the health of population in the surrounding area. Based on this information, this work aims to analyze the time and spatial variability of the atmospheric emissions caused by biomass burning activity in the state of Santa Catarina during the year of 2016. For this purpose, FINN model from the U.S. National Center for Atmospheric Research was used together with georeferencing tools. The results showed that Santa Catarina is the 10<sup>th</sup> Brazilian state with greater number of hot spots detected. Most of this spots are located in west and mountain regions, with strong agriculture and livestock activities.

The results also shown that the most affected land covers are savannas, forests and cropland/natural vegetation mosaic, indicating the soil burning for agriculture and livestock activities as the main cause of the hot spots detected and their consequent emissions.

**Key-words:** Atmospheric pollution, emission estimate, biomass burning, land use, FINN.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localização de Santa Catarina.....  | 29 |
| Figura 2. Regiões de Santa Catarina .....   | 31 |
| Figura 3. Cobertura vegetal em Santa Catarina.....  | 32 |
| Figura 4. a) Número de focos de calor por estado brasileiro para o ano de 2016 b) Número de focos por área territorial para cada estado brasileiro para o ano de 2016. ....                                 | 36 |
| Figura 5. Emissões estimadas pelo FINN em todos os estados brasileiros no ano de 2016 para o poluente monóxido de carbono.  | 38 |
| Figura 6. Estimativa de emissões do modelo FINN para o poluente CO por área territorial para cada unidade da federação em 2016..  | 39 |
| Figura 7. a) Quantidade de focos total e b) quantidade de focos por área territorial para cada região catarinense .....   | 41 |
| Figura 8. Área territorial queimada com relação a área total para as seis regiões de Santa Catarina. ....   | 42 |
| Figura 9. Quantitativo de focos de calor por mês no estado de Santa Catarina para o ano de 2016. ....   | 43 |
| Figura 10. Densidade de Kernel para as emissões de CO <sub>2</sub> no estado de Santa Catarina em 2016.....   | 44 |
| Figura 11. Estimativa de emissão do poluente MP <sub>2,5</sub> para as regiões de Santa Catarina em 2016.....   | 44 |
| Figura 12. Quantitativo de focos por tipo de cobertura vegetal para cada região de Santa Catarina. ....   | 46 |
| Figura 13. a) Emissões de acordo com o tipo de cobertura vegetal em Santa Catarina para o ano de 2016. b) Emissões de acordo com o tipo de cobertura vegetal, compilando as coberturas de agricultura. .... | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Concentração máxima permitida para os poluentes partículas totais em suspensão, fumaça, material particulado, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio de acordo com a CONAMA 03/1990..... | 26 |
| Tabela 2. Número de estabelecimentos e efetivo de rebanho por tipo de criação pecuária para o estado de Santa Catarina.....  | 30 |
| Tabela 3. Dados número de focos e área queimada para cada estado brasileiro no ano de 2016. ....   | 37 |
| Tabela 4. Comparação da emissão de poluentes atmosféricos entre diferentes atividades.....   | 40 |
| Tabela 5. Percentual de área queimada por região catarinense em 2016.....  | 42 |
| Tabela 6. Estimativa das emissões dos demais poluentes nas regiões de Santa Catarina em 2016. ....   | 45 |
| Tabela 7. Número de focos detalhado por tipo de cobertura vegetal para cada região de Santa Catarina.....  | 46 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....   | 13 |
| LISTA DE TABELAS .....   | 15 |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 19 |
| 1.1 Objetivo principal.....  | 20 |
| 1.2 Objetivos específicos.....   | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 23 |
| 2.1 Poluição Atmosférica e seus impactos .....   | 23 |
| 2.2 Os impactos das queimadas na saúde e no ambiente.....  | 24 |
| 2.3 Estimativa de emissões pela queima de biomassa .....   | 24 |
| 2.4 Regulação e monitoramento da prática da queimada no Brasil .....   | 25 |
| 3. METODOLOGIA.....  | 29 |
| 3.1 Área de estudo .....   | 29 |
| 3.2 Preparação dos dados .....   | 30 |
| 3.3 Cobertura vegetal.....   | 31 |
| 3.4 O modelo FINN.....   | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 35 |
| 4.1 Panorama das queimadas nos estados brasileiros.....  | 35 |
| 4.2 Panorama das queimadas em Santa Catarina.....  | 39 |
| 4.3 Análise da relação uso do solo x queimadas .....   | 45 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 49 |
| ANEXO A – Classificação e definição dos tipos de cobertura vegetal do sistema MODIS. (STRAHLER et al., 1999).....  | 59 |
| ANEXO B - estimativa de emissões do modelo FINN dos poluentes CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e MP <sub>2,5</sub> para cada estado brasileiro no ano de 2016. ....                     | 61 |
| ANEXO C – estimativa de emissões do modelo FINN dos poluentes CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e MP <sub>2,5</sub> por área territorial para cada estado brasileiro no ano de 2016..... | 63 |

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil está atualmente entre os dez países que mais emitem poluentes na atmosfera (KANSKI, 2015). Diferentemente dos outros países, onde a principal fonte de emissões é a queima de combustíveis fósseis, as emissões atmosféricas no Brasil provêm de duas fontes majoritárias, a queima de combustíveis fósseis e o uso do solo para agricultura, sendo esse último responsável por 1,03% das emissões globais de gases de efeito estufa. (KANSKI, 2015)

Em 1964 a agricultura brasileira tomou um impulso baseado em melhorias técnicas e de infraestrutura e com programas de incentivos fiscais (MOUVIER, 1997). Dessa forma, a produção agrícola cresceu ao longo dos anos tornando o Brasil um dos maiores produtores agrícolas e pecuários do mundo, tendo entre os produtos exportados principalmente a carne, a soja, o açúcar, a laranja, o café e o tabaco. (SCOLARI, 2006)

A queimada é uma herança cultural deixada pelos primeiros colonizadores do Brasil, que por sua vez a receberam dos indígenas que aqui viviam, e que perdura até hoje (CORRÊA, 2005).

Durante as queimadas são emitidos na atmosfera diversos gases em concentrações variadas, sendo emitidos principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), hidrocarbonetos não metano (HNM), compostos orgânicos voláteis (COV) e material particulado (MP) (ARTAXO et al., 2005). Inventários de emissões atuais demonstram que a queima de biomassa (incluindo a queima de lixo) é responsável por 26-73% das emissões globais de material particulado (BOND et al., 2004; ANDREAE E ROSENFELD, 2008 *apud* WIEDINMYER et al., 2011).

Tratando-se de Santa Catarina, o estado possui entre suas atividades econômicas principais o agronegócio, especialmente a produção de frangos, suínos, milho e soja, sendo desenvolvida principalmente no oeste do estado (MOUVIER, 1997). Essa produção atribui a Santa Catarina o posto de quinto maior produtor de alimentos do país com 193 mil estabelecimentos agrícolas. (TWARDOWSKI, 2015)

A atividade agrícola e de pecuária apesar de contribuir para a sobrevivência dos seres humanos pode se tornar um problema ambiental quando não realizada de forma consciente e sustentável como, por exemplo, a realização da queima da pastagem para preparo do solo em

épocas que antecedem o plantio, principalmente na agricultura familiar, predominante no estado de Santa Catarina, onde os membros têm menos acesso às novas tecnologias (CARCARÁ E MOITA NETO, 2017).

Teixeira et al. (2017) já evidenciava em seu trabalho uma origem antrópica como causadora das queimadas no estado de Santa Catarina. Diante desses dados, o presente trabalho tem como hipótese central que os focos de calor identificados e, conseqüentemente, suas emissões estimadas pelo modelo FINN, são provenientes principalmente das queimadas no preparo do solo para a agricultura. Dessa forma o trabalho objetiva avaliar as distribuições de focos ao longo do ano de 2016, ano com dados mais recentes do modelo FINN, e também as emissões de acordo com o tipo de uso de solo a fim de se confirmar essa hipótese.

## **1.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

Avaliar a variabilidade espacial e temporal das emissões atmosféricas provenientes da queima de biomassa no estado de Santa Catarina para o ano de 2016.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Comparar as emissões atmosféricas causadas pelas queimadas entre Santa Catarina com outros estados brasileiros;  
Hipótese: Santa Catarina emite uma quantidade significativa de poluentes atmosféricos frente a outros estados brasileiros.
- II. Comparar as emissões atmosféricas causadas pelas queimadas entre as regiões de Santa Catarina;  
Hipótese: As regiões com economia agrícola forte serão as regiões que mais emitem poluentes atmosféricos.
- III. Avaliar os focos de calor ao longo do ano de 2016 nas diferentes regiões de Santa Catarina;  
Hipótese: Os focos devem aumentar no período que antecede a época de novo plantio das principais culturas do estado. Ação causada pela queimada no preparo do solo.
- IV. Avaliar as emissões das queimadas em cada tipo de uso do solo para cada região de Santa Catarina.

Hipótese: As coberturas vegetais que indicam regiões com atividade de agricultura serão as coberturas a emitirem maior quantidade de poluentes atmosféricos.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SEUS IMPACTOS**

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (1990) os poluentes atmosféricos podem ser definidos como “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da comunidade”.

Estes poluentes podem vir de dois tipos de fontes: fixas, como as indústrias e usinas termelétricas, ou móveis como os carros, aviões e trens. Podem ainda ser classificados em primários, emitidos diretamente pela fonte, e secundários, provenientes de uma reação química atmosférica (PARANÁ, 2018).

Anualmente são emitidos na atmosfera milhares de toneladas de poluentes atmosféricos, alguns desses conhecidos como Gases de Efeito Estufa (GEE). Os GEE são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço. Isso impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a Terra aquecida. Alguns desses gases incluem o dióxido de carbono, o metano, o dióxido de nitrogênio e os hidrofluorcarbonos (BRASIL, 2018a).

Entretanto, um poluente é apontado por diversos estudos como principal causa de doenças respiratórias atualmente, o Material Particulado (MP). O material particulado é uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, cujos componentes apresentam características físicas e químicas diversas. Em geral o material particulado é classificado de acordo com o diâmetro das partículas, devido à relação existente entre diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório. As fontes principais de material particulado são a queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura e emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias. (BRASIL, 2018b)

De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS - (2018), cerca de 91% da população mundial habita zonas com padrões de qualidade do ar acima do ideal. Além disso, 4,2 milhões de pessoas



morrem anualmente ao redor do mundo devido a doenças cardíacas e respiratórias provocadas pela poluição atmosférica.

## **2.2 OS IMPACTOS DAS QUEIMADAS NA SAÚDE E NO AMBIENTE**

Diversos estudos foram feitos ao longo dos últimos anos, nas mais variadas regiões do mundo, de modo a analisar o impacto no meio ambiente e na vida dos seres humanos causados pelas emissões atmosféricas das queimadas. No Brasil alguns dos estudos foram Lorenzo et al. (2015), que analisou a influência das queimadas no comportamento das chuvas nos municípios de Botucatu e Piracicaba; Machado (2012), que estudou os desmatamentos e queimadas no norte do Tocantins, seus impactos e possíveis soluções para a mitigação dos efeitos; e Lopes; Vale; Schiavini (2009) que analisaram o efeito das queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal do Cerrado.

Estudos sobre a saúde da população exposta aos poluentes atmosféricos das queimadas também foram realizados. Por exemplo, Ignotti et al (2010) e Silva et al. (2013), que avaliaram respectivamente a região da Amazônia e o estado de Mato Grosso. Estes concluíram, de forma geral, que a incidência de casos por doenças respiratórias está diretamente relacionada à exposição do grupo de risco aos poluentes emitidos durante as queimadas, em especial o material particulado.

Oliveira, Ignotti e Hacon, (2011) fizeram uma revisão de vários estudos realizados no Brasil nos últimos anos, referentes a emissões atmosféricas provenientes de queimadas e os efeitos na saúde humana. Seu trabalho concluiu que a poluição atmosférica tem efeito direto na saúde da população exposta, principalmente no sistema cardiovascular e no trato respiratório, indo de acordo com a informação obtida da OMS.

O único estudo disponível até o momento no estado de Santa Catarina sobre emissões por queimadas é o de Pereira et al (2009), que analisou as emissões das áreas queimadas no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro.

## **2.3 ESTIMATIVA DE EMISSÕES PELA QUEIMA DE BIOMASSA**

Diante dos impactos já citados, são cada vez mais comuns estudos que visam estimar as emissões atmosféricas em diversas partes do globo. Esses estudos utilizam de variados modelos como, por

exemplo, GFAS – Global Fire Assimilation System, GFED – Global Fire Emission Database, 3BEM – Brazilian Biomass Burning Emission Model, FINN – Fire INventory from NCAR (PEREIRA et al, 2016; SHI et al, 2015). Sendo esse último o modelo a ser utilizado no presente trabalho.

O FINN teve sua primeira versão lançada em 2010 e desde então vem sendo utilizado nos mais variados estudos como, por exemplo, Ghude et al. (2014) que estudou a redução no rendimento do plantio na Índia devido ao ozônio, Pereira et al. (2016) que fez um estudo comparativo do FINN com outros modelos no experimento SAMBBA, bem como Shi et al. (2015) que também comparou o FINN com outros modelos na estimativa global de emissões de CO<sub>2</sub> entre 2002 e 2011, dentre outros estudos que tiveram o FINN como base metodológica.

De uma forma geral, os modelos de estimativa de emissões atmosféricas pela queima da biomassa, se baseiam na Equação 1 apresentada a seguir.

$$E_{(k,t,i)} = A_{(k,t)} \times FLC_{(k,t)} \times 0,001 \times FE_{(k,t)} \quad (1)$$

onde k é o local, t é o tempo, i é o poluente, A é a área queimada, e FLC é o produto da carga de biomassa (kg de vegetação seca·km<sup>-2</sup>) com o nível de combustão (completa, incompleta) (adimensional). Fatores de emissão (FE) são tradicionalmente descritos em unidades de g·kg<sup>-1</sup> e o fator 0,001 na equação converte as unidades em kg·kg<sup>-1</sup> (URBANSKI; HAO; NORDGREN, 2011).

## 2.4 REGULAÇÃO E MONITORAMENTO DA PRÁTICA DA QUEIMADA NO BRASIL

A legislação brasileira (BRASIL, 2012) proíbe o uso de fogo na vegetação, porém excetua alguns casos como, por exemplo, o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais em algumas localidades, mediante prévia aprovação do órgão estadual ambiental competente do Sisnama. Dessa forma, abre precedentes para que a prática do preparo do solo através da queima continue a ser utilizada.

A legislação de padrões de qualidade do ar também se encontra defasada, tendo a primeira e única sido formulada em 1990. A CONAMA 03/1990 estipula limites máximos de concentração para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis ou material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio

(NO<sub>2</sub>). Para o ozônio os padrões primário e secundário são 160 µg/m<sup>3</sup> de ar.h e para o monóxido de carbono 40.000 µg/m<sup>3</sup> de ar.h, valores esses que não devem ser ultrapassados mais de uma vez ao ano. Os padrões de qualidade para os demais poluentes são encontrados na Tabela 1.

Tabela 1. Concentração máxima permitida para os poluentes partículas totais em suspensão, fumaça, material particulado, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio de acordo com a CONAMA 03/1990.

| Poluente        | Padrão Primário<br>(média anual em<br>µg/m <sup>3</sup> de ar.ano) | Padrão Secundário<br>(média anual em<br>µg/m <sup>3</sup> de ar.ano) |
|-----------------|--|--|
| PTS             | 80   | 60   |
| Fumaça          | 60   | 40   |
| MP              | 50   | 50   |
| SO <sub>2</sub> | 80   | 40   |
| NO <sub>2</sub> | 100  | 100  |

Com a criação do Plano Nacional de Qualidade do Ar em 2009, o Ministério do Meio Ambiente se propôs a atualizar os marcos normativos destinados à gestão, adotar medidas preventivas e corretivas, e permitir a retomada de políticas públicas que corrijam as assimetrias nacionais profundas no trato desse tema (BRASIL, 2017). Entretanto, até o momento, continua sem nenhuma norma regulatória atualizada tanto em escala federal quanto em escala estadual, no que diz respeito às emissões atmosféricas originadas por queimadas agrícolas.

O INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais tem em sua página na internet um sistema que apresenta em tempo real o monitoramento das queimadas no Brasil e nos países da América do Sul, o BD Queimadas. O Sistema assim como o FINN, que será melhor explanado mais a frente no presente trabalho, utiliza-se dos sensores termo sensíveis do MODIS para identificar o local do foco. É possível obter ainda a data e o horário da detecção, o tipo de bioma, o número de dias sem chuva, a precipitação e o valor de risco de fogo. Os dados também se encontram disponíveis para *Download* para que qualquer interessado possa trabalhar com eles. Entretanto, de acordo com as informações disponibilizadas pelo INPE, algumas deficiências são encontradas pelo sistema, como o fato de não captar focos de calor dentro dos seguintes padrões: frentes de fogo com menos de 30 m; fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores; nuvens cobrindo a região, com exceção às nuvens de fumaça; queimada

de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis; fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado; imprecisão na localização do foco de queima, que no melhor caso é de cerca de 1 km, mas podendo chegar a 6 km. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018)

Ainda assim o sistema é uma boa ferramenta na detecção e no combate as queimadas e incêndios florestais.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina está localizado na região sul do Brasil conforme apresentado na Figura 1.

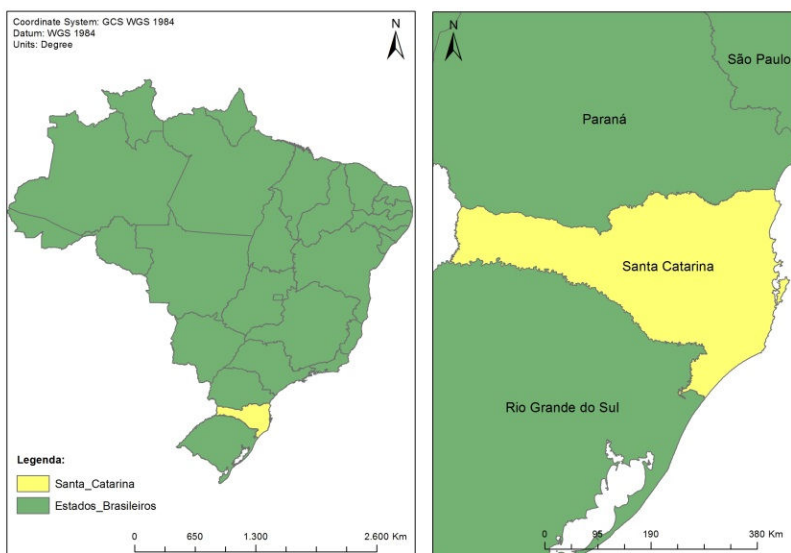


Figura 1. Mapa de localização de Santa Catarina

Santa Catarina possui uma área territorial aproximada de 95.738 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 7.001.161 de habitantes de acordo com dados do IBGE (2018a). É o 20º maior estado brasileiro e o 11º mais populoso. O censo 2010 demonstrava que a maior parte da população (~84%) residia em áreas urbanas, tendo esse percentual possivelmente aumentado nos dias atuais.

Das famílias que ainda permanecem em zonas rurais, aproximadamente 96% produzem de forma individual. A forma de lavoura mais presente é a lavoura temporária (principalmente milho e mandioca), que se caracteriza por culturas que precisam de novo plantio após cada colheita (ALVES, 2012).

Já no setor de pecuária o efetivo de galináceos é o maior, seguido pelos suínos e outras aves. Os números de estabelecimentos e número de cabeças por cada tipo de rebanho podem ser conferidos na Tabela 2 (IBGE, 2018b).

Tabela 2. Número de estabelecimentos e efetivo de rebanho por tipo de criação pecuária para o estado de Santa Catarina (IBGE, 2018b)

| <b>Produção</b>    | <b>Nº de estabelecimentos<br/>(unidades)</b> | <b>Efetivo do rebanho<br/>(cabeças)</b> |
|--------------------|--|---|
| <b>Galináceos</b>  | 111.362                                      | 179.864.000                             |
| <b>Suínos</b>      | 82.348                                       | 6.569.714                               |
| <b>Outras aves</b> | 12.668                                       | 5.901.211                               |
| <b>Bovinos</b>     | 147.338                                      | 3.126.002                               |
| <b>Ovinos</b>      | 7.906  | 194.819                                 |
| <b>Equinos</b>     | 35.566                                       | 80.579                                  |
| <b>Caprinos</b>    | 2.802  | 40.411                                  |

### 3.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

Através do *software* ArcGIS® foi possível elaborar um mapa global com a localização dos focos ao imprimir os dados de latitude e longitude desses focos, provenientes do modelo FINN, com base no sistema de coordenadas geográficas WGS 1984. Ainda foi possível trabalhar com uma tabela de dados, também proveniente do modelo FINN, que consta data, horário e estimativa de emissão para os mais variados tipos de poluentes. As estimativas são apresentadas para os seguintes poluentes: monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido nítrico, dióxido de nitrogênio, amônia, metano, material particulado, carbono negro, carbono orgânico, hidrocarbonetos, entre outros.

Recortes foram feitos para o Brasil e para o estado de Santa Catarina e suas regiões, identificadas como Grande Florianópolis (Gde. Fpolis), Sul, Norte, Oeste, Serra e Vale do Itajaí. A Figura 2 apresenta cada uma das regiões.

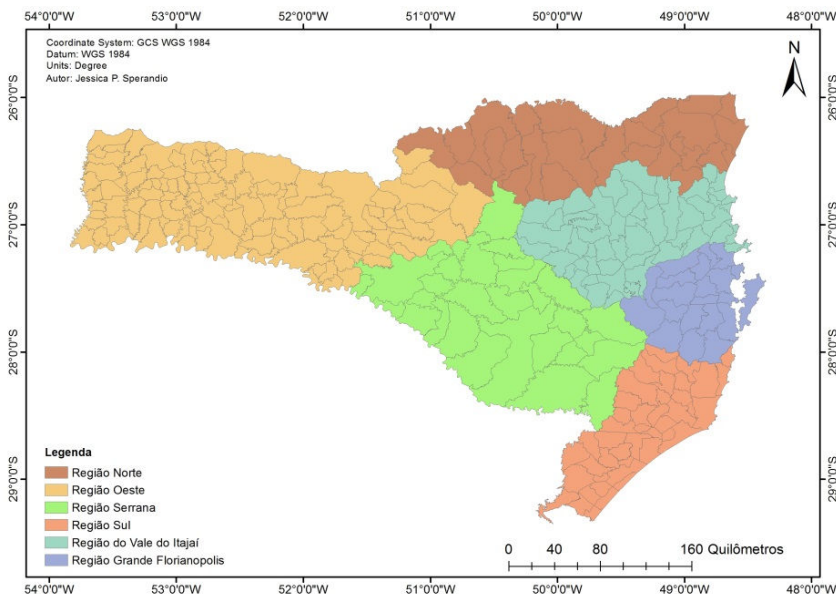


Figura 2. Regiões de Santa Catarina

### 3.3 COBERTURA VEGETAL

Ainda com o auxílio do *software* ArcGIS® foi possível gerar um mapa de identificação de cobertura vegetal pro estado de Santa Catarina com base nos dados obtidos do *Global Land Cover Facility* (CHANNAN S., COLLINS K. e EMANUEL, W.R., 2014), o resultado é apresentado na Figura 3. Para a criação do mapa as subclassificações do tipo Floresta e Savana foram unidas em uma só classe. A tabela na íntegra, com as definições de cada classificação, está disponível no Anexo A.



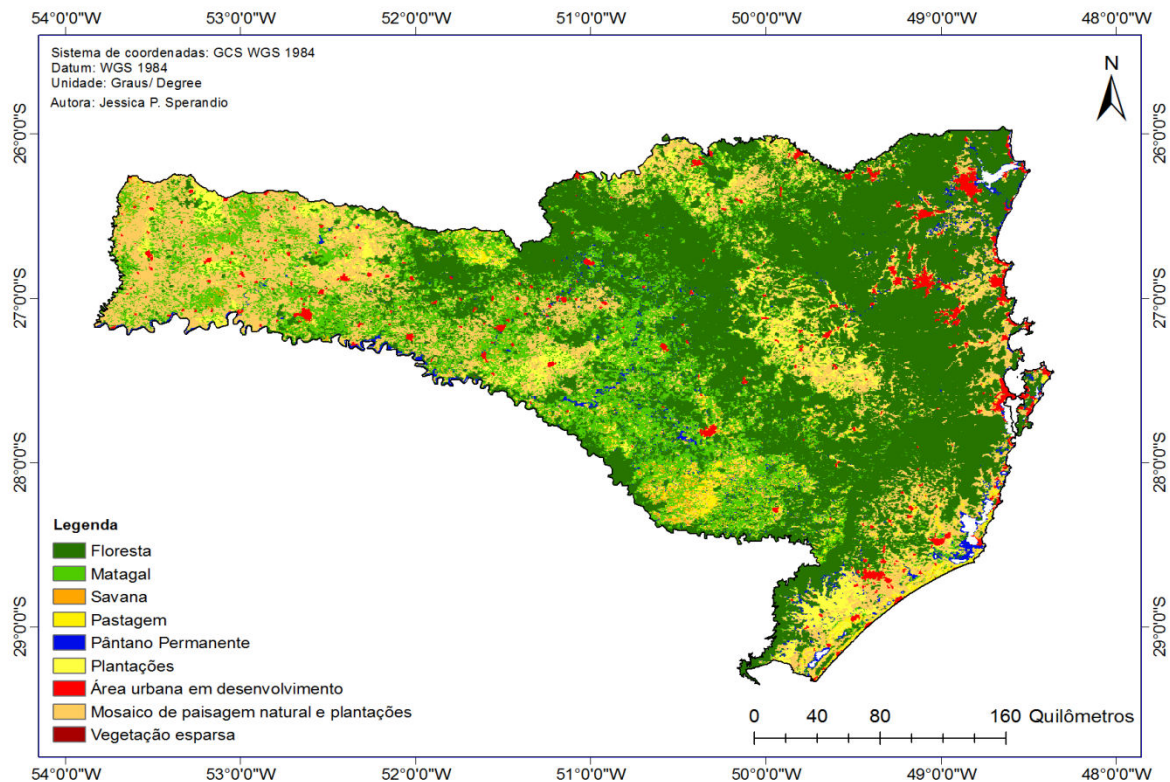


Figura 3. Cobertura vegetal em Santa Catarina

### 3.4 O MODELO FINN

No presente trabalho foram utilizadas as estimativas de emissões do modelo FINN (*Fire INventory from NCAR*), desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas dos Estados Unidos. O modelo se baseia na detecção de focos de calor ao redor do mundo captados pelos dispositivos termo sensíveis do sistema MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) instalados nos satélites Aqua e Terra da NASA, com resolução de aproximadamente 1km<sup>2</sup>, para estimar as emissões de gases traço e partículas provindas da queima de biomassa através da Equação 2.

$$E_i = A_{(x,t)} \times B_{(x)} \times FB \times ef_i \quad (2)$$

onde,  $E_i$  representa a estimativa de emissões para o poluente  $i$ ,  $A_{(x,t)}$  é a área queimada no momento  $t$  e no local  $x$ ,  $B_{(x)}$  é a carga de biomassa disponível para queima no local  $x$ ,  $FB$  é a fração da biomassa que é queimada e  $ef_i$  é o fator de emissão para o poluente  $i$ .

Para estimar as emissões, o FINN pode trabalhar com três bases de dados de fatores de emissão e especiação, o MOZART-4, o SAPRC99, e o GEOS-chem. Para o presente trabalho foram utilizados os dados de 2016 tendo como base o GEOS-chem.

Como o FINN ainda não é capaz de obter a área real queimada, a mesma é assumida geralmente como sendo 1km<sup>2</sup>, podendo variar de acordo com o tipo de cobertura vegetal do local e o percentual dessa cobertura. Por exemplo, um foco detectado em determinado tipo de cobertura do solo é assumido a priori como tendo uma área de 1km<sup>2</sup> (com exceção das áreas de savana e gramíneas, onde esse valor é assumido como 0,75km<sup>2</sup>). Entretanto, se para esse local os dados indicam que a cobertura vegetal é em apenas 50% dessa área, a área queimada assumida será igual a 0,5 km<sup>2</sup>. Vale ressaltar que o modelo elimina dados com menos de 20% de confiabilidade, e a possibilidade de dados duplicados através da eliminação de focos com menos de 1km de distância identificados no mesmo dia.

Uma das limitantes do modelo é que os satélites não cobrem diariamente os focos entre as latitudes 30°N e 30°S. Para tentar compensar essa falha o modelo assume a duração do foco de calor detectado como sendo de dois dias seguidos nessas regiões, com intensidade igual à metade da inicial no segundo dia.

Durante o experimento denominado SAMBBA (*South American Biomass Burning Analysis*), Pereira et al. (2016) comparou quatro modelos de estimativas de emissões, dois deles baseados em mapas de cobertura vegetal (FINN e 3BEM) e dois baseados em poder radioativo de fogo, que é uma medida de radiação emitida a partir de um foco de calor (3BEM\_FRP e GFAS). Os modelos que se baseiam no mesmo método como o FINN e o 3BEM, por exemplo, apresentaram estimativas semelhantes entre si. Entretanto, quando comparados aos modelos 3BEM\_FRP e GFAS, esses últimos apresentaram estimativas maiores de emissões por serem menos dependentes dos dados de cobertura vegetal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PANORAMA DAS QUEIMADAS NOS ESTADOS BRASILEIROS

O modelo FINN identificou numerosa quantidade de focos de calor para o ano de 2016 nos estados brasileiros, como é possível observar na Figura 4a. As regiões norte, nordeste e centro-oeste são as mais atingidas pelos focos, abrigando os estados campeões em focos de calor: Mato Grosso, Pará e Maranhão. Estes estados sofrem com o desmatamento, o clima seco, e têm a agricultura e a pecuária como suas principais atividades econômicas (PARÁ, 2010; FEITOSA E TROVÃO, 2006; MATO GROSSO, 2015).

A linha vermelha mostrada nos gráficos identifica a média aritmética entre todos os estados brasileiros. Como é possível perceber na Figura 4a, Santa Catarina configura como o 19º estado com maior número de focos. A região sul é a única que não possui nenhum dos seus estados acima da média.

Analisando a quantidade de focos por área territorial (Figura 4b) de cada estado o cenário muda. E o *ranking* fica com os estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. Santa Catarina configura em décimo lugar com maior número de focos por área total, tendo quase 4,5% do seu território queimado em 2016, conforme Tabela 33.

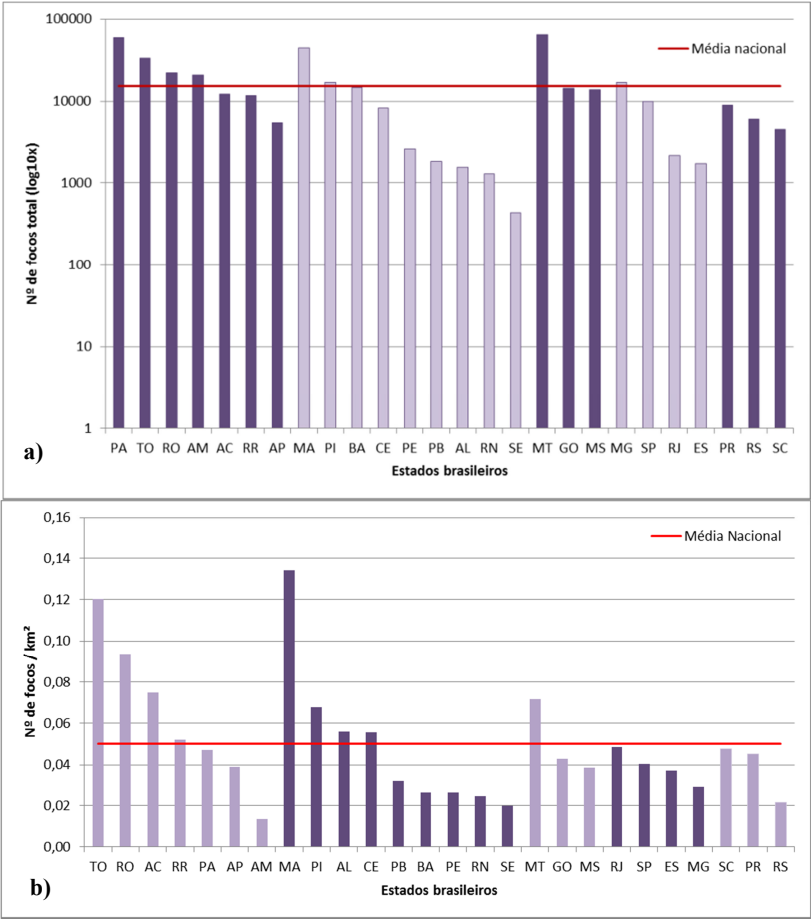


Figura 4. a) Número de focos de calor por estado brasileiro para o ano de 2016 em escala logarítmica de base 10. b) Número de focos por área territorial para cada estado brasileiro para o ano de 2016.

Tabela 3. Dados número de focos e área queimada para cada estado brasileiro no ano de 2016.

|              | UF | Área (km <sup>2</sup> ) | Nº focos | nºfocos por área (km <sup>2</sup> ) | Área queimada (km <sup>2</sup> ) | % Área estadual queimada |
|--------------|----|-------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Norte        | PA | 1.247.955,24            | 59013    | 0,047                               | 44481,06                         | 3,6                      |
|              | TO | 277.720,41              | 33381    | 0,120                               | 22099,28                         | 8,0                      |
|              | RO | 237.765,29              | 22268    | 0,094                               | 16252,61                         | 6,8                      |
|              | AM | 1.559.146,88            | 20895    | 0,013                               | 17737,96                         | 1,1                      |
|              | AC | 164.123,74              | 12269    | 0,075                               | 10241,19                         | 6,2                      |
|              | RR | 224.300,81              | 11716    | 0,052                               | 9938,82                          | 4,4                      |
|              | AP | 142.828,52              | 5559     | 0,039                               | 4521,54                          | 3,2                      |
| Nordeste     | MA | 331.936,95              | 44492    | 0,134                               | 23883,4                          | 7,2                      |
|              | PI | 251.611,93              | 17020    | 0,068                               | 11374,47                         | 4,5                      |
|              | BA | 564.732,45              | 14794    | 0,026                               | 9946,32                          | 1,8                      |
|              | CE | 148.887,63              | 8304     | 0,056                               | 5101,81                          | 3,4                      |
|              | PE | 98.076,02               | 2579     | 0,026                               | 1601,21                          | 1,6                      |
|              | PB | 56.468,44               | 1813     | 0,032                               | 1117,14                          | 2,0                      |
|              | AL | 27.848,14               | 1560     | 0,056                               | 1004,67                          | 3,6                      |
|              | RN | 52.811,11               | 1293     | 0,024                               | 784,35                           | 1,5                      |
|              | SE | 21.918,44               | 433      | 0,020                               | 276,03                           | 1,3                      |
| Centro-Oeste | MT | 903.202,45              | 64783    | 0,072                               | 43367,99                         | 4,8                      |
|              | GO | 340.106,49              | 14550    | 0,043                               | 9480,48                          | 2,8                      |
|              | MS | 357.145,53              | 13775    | 0,039                               | 9690,15                          | 2,7                      |
| Sudeste      | MG | 586.520,73              | 17154    | 0,029                               | 11173,16                         | 1,9                      |
|              | SP | 248.219,63              | 10015    | 0,040                               | 6631,27                          | 2,7                      |
|              | RJ | 43.781,59               | 2133     | 0,049                               | 1298,96                          | 3,0                      |
|              | ES | 46.086,91               | 1719     | 0,037                               | 1163,62                          | 2,5                      |
| Sul          | PR | 199.307,94              | 9035     | 0,045                               | 7089,31                          | 3,6                      |
|              | RS | 281.737,89              | 6077     | 0,022                               | 4976,23                          | 1,8                      |
|              | SC | 95.737,95               | 4558     | 0,048                               | 4071,51                          | 4,3                      |

Com base nesses focos de calor e em dados obtidos do modelo FINN de estimativa de emissões, a Figura 5 a seguir mostra as taxas de

emissão do poluente atmosférico monóxido de carbono, controlado pela CONAMA nº 03 de 1990.

O comportamento das emissões segue um mesmo padrão para os demais poluentes, ou seja, o estado que mais emite monóxido de carbono vai ser também o estado a emitir maior quantidade para os outros poluentes. Os dados detalhados para os demais poluentes encontram-se no Anexo B.

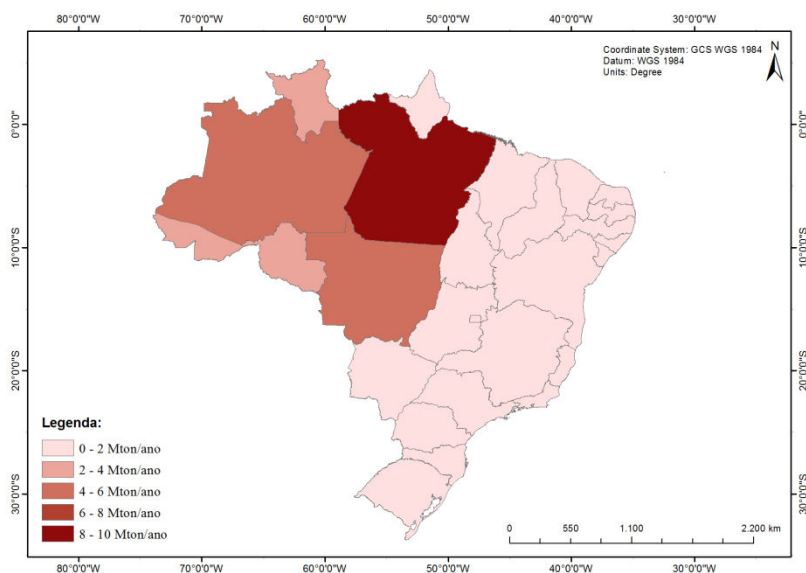


Figura 5. Emissões estimadas pelo FINN em todos os estados brasileiros no ano de 2016 para o poluente monóxido de carbono.

Os estados com maiores emissões são Pará, Amazonas e Mato Grosso, ocupando o primeiro, segundo e terceiro lugar respectivamente. Fato interessante a ser notado é que o estado do Amazonas não aparece entre os três estados com maior número de focos, nem entre os que têm maior número de focos por área. Entretanto, é um estado coberto principalmente por Floresta Amazônica (BRASIL, 2014), contendo grande carga de biomassa a ser queimada, fator que intensifica as estimativas de emissões, de acordo com a equação 1 já apresentada.

Outra análise realizada foi a relativização das estimativas de emissões apresentadas na Figura 6 divididas pela área territorial para

cada unidade da federação, os resultados são apresentados na Figura 6. Os dados para os demais poluentes podem ser encontradas no Anexo C. Nesse cenário, Acre, Rondônia e Roraima ocupam respectivamente, primeira, segunda e terceira posição entre os estados com as maiores quantidades de poluentes emitidas por área territorial. Santa Catarina desponta na décima colocação e fica entre os estados da região sul como o maior emissor de poluentes por área territorial.

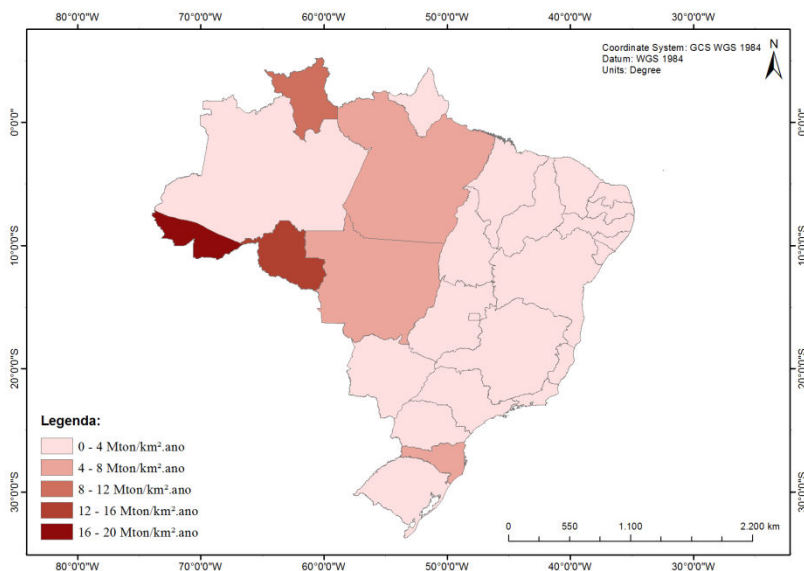


Figura 6. Estimativa de emissões do modelo FINN para o poluente CO por área territorial para cada unidade da federação em 2016.

## 4.2 PANORAMA DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

Como mostrado anteriormente, Santa Catarina é o décimo estado a emitir mais poluentes. A Tabela 4 mostra um comparativo entre as emissões por queimadas, estimadas pelo modelo FINN, e outras atividades, como a produção de energia, a utilização de veículos movidos a combustível derivado do petróleo e o transporte ferroviário.

Os valores para tais atividades foram retirados do 1º Inventário Nacional de Emissões Veiculares (BRASIL, 2011), incluindo todos os veículos movidos à gasolina e diesel do país, do Inventário de Emissões



de Gases do Efeito Estufa (ELETROBRAS, 2017), incluindo todas as usinas do grupo Eletrobrás, e do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas (BRASIL, 2012b), que inclui o transporte por toda a malha ferroviária brasileira.

Comparando os valores é possível notar a relevância das emissões por queimadas no estado. Santa Catarina sozinha emite através das queimadas a mesma quantidade de CO que todos os veículos brasileiros movidos a combustível derivado de petróleo, quase a mesma quantidade de NOx que as atividades de transporte ferroviário e mais CH<sub>4</sub> do que o setor de energia brasileiro.

Tabela 4. Comparação da emissão de poluentes atmosféricos entre diferentes atividades.

| <b>Atividades</b>             | <b>CO<br/>(x10<sup>3</sup><br/>ton/ano)</b> | <b>CO<sub>2</sub><br/>(x10<sup>3</sup><br/>ton/ano)</b> | <b>NOx<br/>(x10<sup>3</sup><br/>ton/ano)</b> | <b>CH<sub>4</sub><br/>(x10<sup>3</sup><br/>ton/ano)</b> | <b>MP<br/>(x10<sup>3</sup><br/>ton/ano)</b> |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|
| <b>Queimadas em SC</b>        | 510   | 9610  | 27,4   | 27  | 52,3  |
| <b>Veículos</b>               | 500   | 75000   | 50   | 10  | 18,64                                       |
| <b>Energia</b>                | -   | 11060   | 10   | 10  | 0,37  |
| <b>Transporte ferroviário</b> | 40  | 3070  | 50   | 0,21  | 1,43  |

Ao analisar a quantidade de focos no estado nota-se que a maior parte destes se concentra nas regiões serrana e oeste, conforme demonstrado na Figura 7a. É possível perceber que ambas as regiões encontram-se acima da média estadual de número de focos de calor, sendo que a serra apresenta três vezes mais focos do que a média.

Ao relativizar o número de focos pela área territorial o cenário se mantém igual, conforme observado na Figura 7b. Serra e oeste continuam com o maior número de focos por quilômetro quadrado e também acima da média estadual.

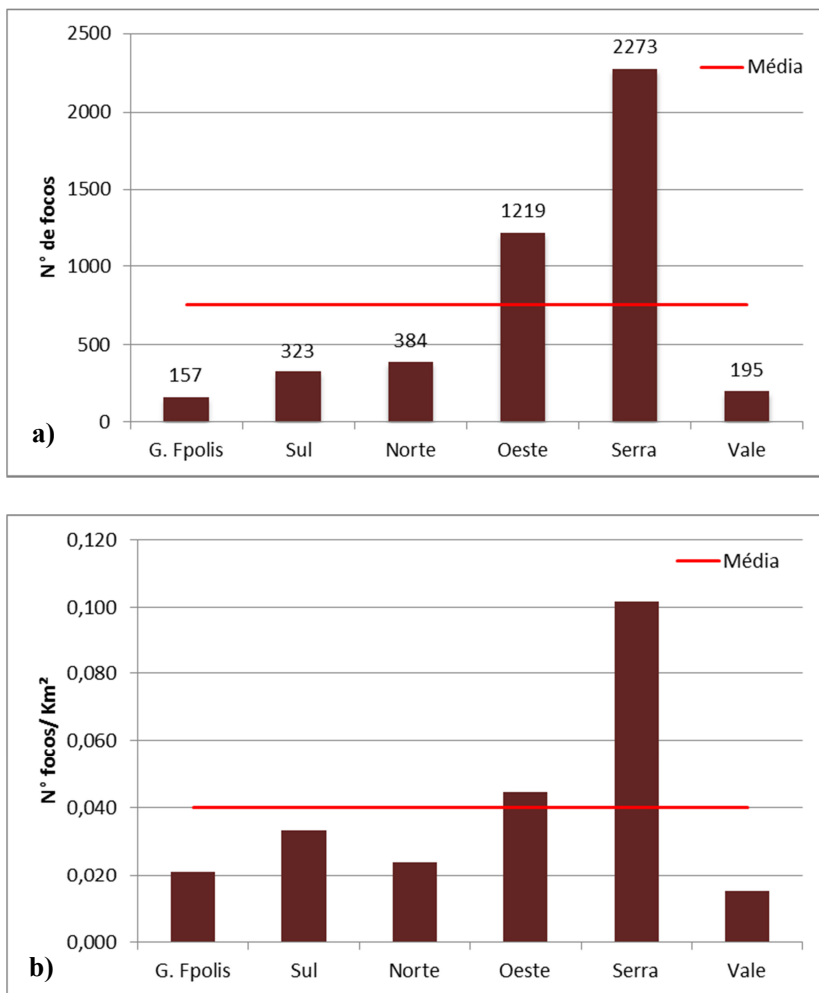


Figura 7. a) Quantidade de focos total e b) quantidade de focos por área territorial para cada região catarinense

São serra e oeste também as regiões com maior percentual de área queimada, a Figura 8 demonstra a área total territorial e a área queimada para todas as regiões catarinenses.

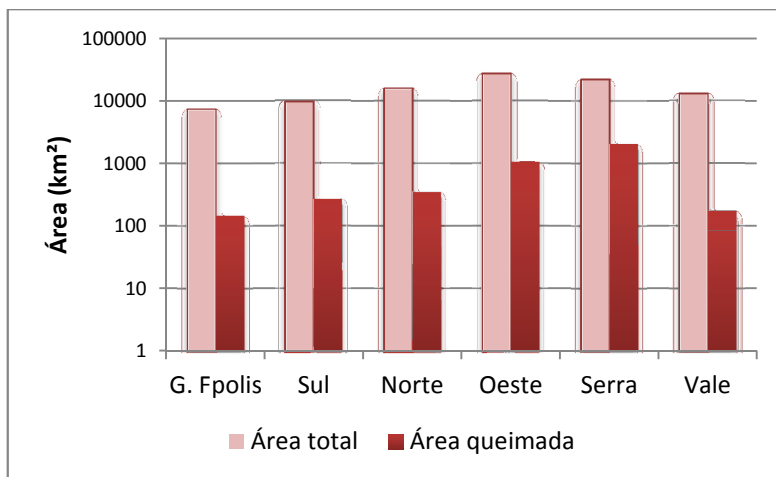


Figura 8. Área territorial queimada com relação a área total para as seis regiões de Santa Catarina. Dados apresentados em escala logarítmica de base 10.

Vale destacar a região serrana que teve quase 10% do seu território queimado somente no ano de 2016, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5. Percentual de área queimada por região catarinense em 2016.

| Região           | Nº focos | Área queimada (km²) | Área total (km²) | %A queimada |
|------------------|----------|---------------------|------------------|-------------|
| <b>G. Fpolis</b> | 157      | 147,22              | 7401,94          | 1,99        |
| <b>Sul</b>       | 323      | 268,98              | 9690,95          | 2,78        |
| <b>Norte</b>     | 384      | 353,71              | 15965,43         | 2,22        |
| <b>Oeste</b>     | 1219     | 1054,57             | 27255,51         | 3,87        |
| <b>Serra</b>     | 2273     | 2066,36             | 22406,38         | 9,22        |
| <b>Vale</b>      | 195      | 175,16              | 13000,70         | 1,35        |

A natureza das queimadas em Santa Catarina foi investigada por Teixeira et al. (2017) através da comparação entre dos níveis pluviométricos e dias sequentes sem chuva no estado, com a detecção de focos de calor obtidos por imagens de satélite entre os anos de 1999 e 2016. Os resultados apresentados no trabalho indicam uma possível

associação dos focos de calor com a atividade agrícola, “visto que o número dos focos cresce abruptamente nos meses de julho e agosto, de maneira desproporcional as chuvas medidas para estes meses.” (TEIXEIRA et al, 2017).

A informação do aumento do número de focos também pode ser confirmada com a identificação destes pelos equipamentos do sistema MODIS e análise posterior dos dados, os resultados são apresentados na Figura 99.

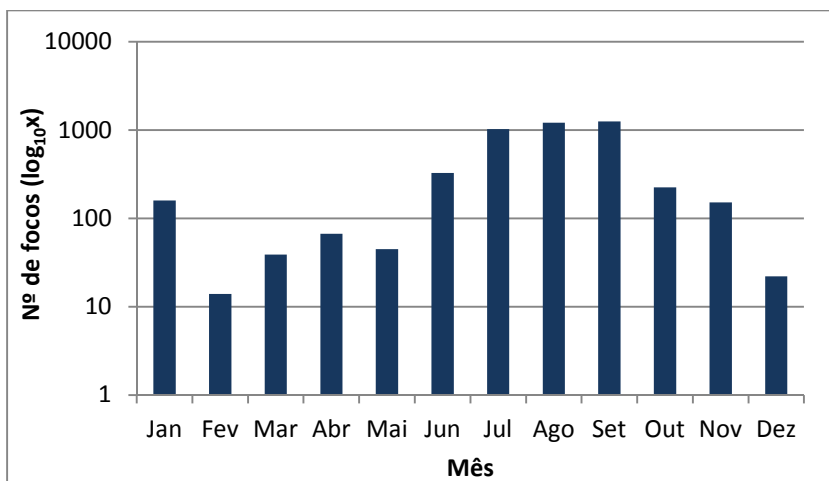


Figura 9. Quantitativo de focos de calor por mês no estado de Santa Catarina para o ano de 2016.

Como citado anteriormente na introdução, Santa Catarina produz principalmente milho, soja e mandioca, que têm sua época de plantio entre agosto e janeiro (CANAL RURAL, 2014), sendo os meses antecedentes a esse período os de preparo do solo.

Com a utilização da ferramenta de Kernel do *software* ArcGIS® foi possível elaborar o mapa apresentado na Figura 10, que demonstra as regiões de Santa Catarina com maiores emissões de CO<sub>2</sub>, representadas em vermelho. A região serrana desponta também como principal emissora de CO<sub>2</sub>, principalmente em áreas de pastagem e plantações se comparadas as Figuras 3 e 10.

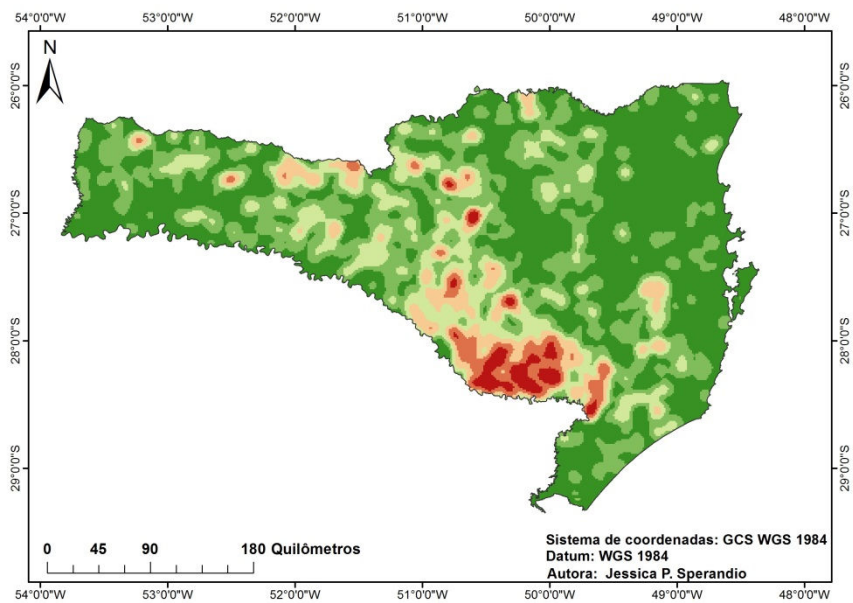


Figura 10. Densidade de Kernel para as emissões de CO<sub>2</sub> no estado de Santa Catarina em 2016.

A Figura 11 mostra a estimativa, em números, para o poluente MP<sub>2,5</sub>, para os demais poluentes a estimativa em detalhe pode ser conferida na Tabela 6.

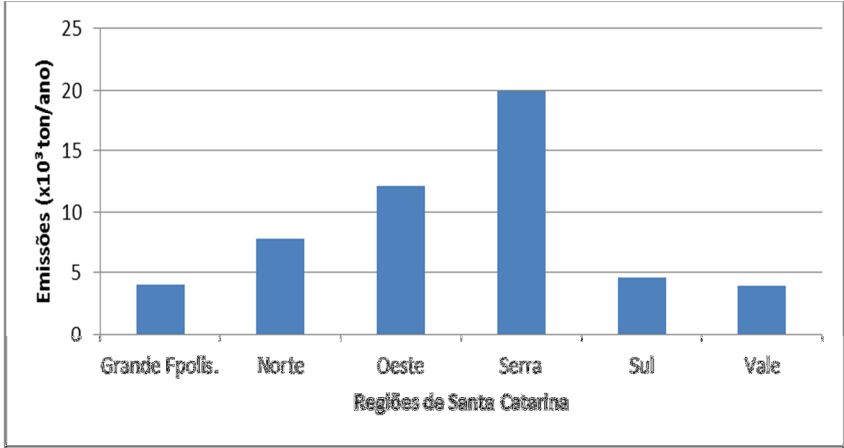


Figura 11. Estimativa de emissão do poluente MP<sub>2,5</sub> para as regiões de Santa Catarina em 2016.

Tabela 6. Estimativa das emissões dos demais poluentes nas regiões de Santa Catarina em 2016.

|                       | <b>CO<sub>2</sub></b><br><b>(x10<sup>3</sup></b><br><b>ton/ano)</b> | <b>CO</b><br><b>(x10<sup>3</sup></b><br><b>ton/ano)</b> | <b>NO<sub>2</sub></b><br><b>(x10<sup>3</sup></b><br><b>ton/ano)</b> | <b>SO<sub>2</sub></b><br><b>(x10<sup>3</sup></b><br><b>ton/ano)</b> | <b>CH<sub>4</sub></b><br><b>(x10<sup>3</sup></b><br><b>ton/ano)</b> |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| <b>Grande Fpolis.</b> | 724,94  | 40,29   | 1,56  | 0,18  | 2,22  |
| <b>Norte</b>          | 1397,80   | 76,79   | 2,94  | 0,35  | 4,18  |
| <b>Oeste</b>          | 2261,59   | 118,55  | 4,39  | 0,62  | 6,18  |
| <b>Serra</b>          | 3646,55   | 187,48  | 6,63  | 1,05  | 9,63  |
| <b>Sul</b>            | 842,75  | 46,51   | 1,81  | 0,21  | 2,52  |

### 4.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO USO DO SOLO X QUEIMADAS

As regiões mais afetadas pelas queimadas, serra e oeste, são as que apresentam características semelhantes de cobertura vegetal, tendo em sua composição principalmente savanas, pastagens e plantações.

A Figura 122 demonstra o quantitativo de focos por tipo de cobertura vegetal, e evidencia que a maior parte das queimadas na região oeste acontece em savanas, seguida por mosaico de paisagens naturais e pastagens e florestas, enquanto na serra o cenário alterna um pouco sendo as áreas mais queimadas aquelas cobertas por savanas, seguidas de cobertura por floresta e do mosaico de paisagens natural e plantações.

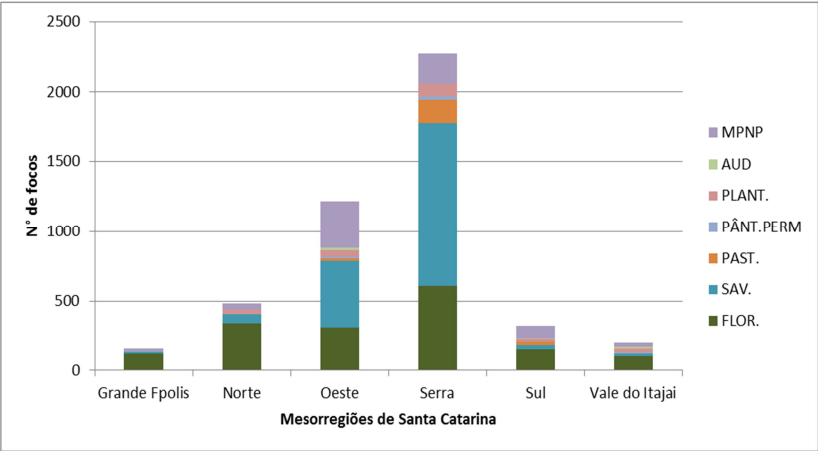


Figura 12. Quantitativo de focos por tipo de cobertura vegetal para cada região de Santa Catarina.

Os resultados numéricos são apresentados detalhadamente na Tabela 7 a seguir

Tabela 7. Número de focos detalhado por tipo de cobertura vegetal para cada região de Santa Catarina

| Classificação da vegetação | Grande Fpolis | Norte | Oeste | Serra | Sul | Vale do Itajaí |
|----------------------------|---------------|-------|-------|-------|-----|----------------|
| FLOR.                      | 119           | 340   | 307   | 606   | 151 | 100            |
| SAV.                       | 10            | 64    | 480   | 1164  | 28  | 16             |
| PAST.                      | 0             | 3     | 21    | 177   | 21  | 2              |
| PÂNT.PERM                  | 5             | 1     | 9     | 24    | 0   | 4              |
| PLANT.                     | 2             | 32    | 46    | 88    | 26  | 30             |
| AUD                        | 2             | 4     | 18    | 0     | 8   | 12             |
| MPNP                       | 17            | 40    | 337   | 213   | 89  | 31             |

Entretanto, ao analisar as emissões por tipo de cobertura vegetal observou-se que apesar de conter menor quantidade de focos, a floresta apresenta-se como o tipo de cobertura com maior emissão. Este fato ocorre devido à carga de biomassa disponível para queima, como já citado anteriormente. Em seguida aparecem as savanas, o mosaico de

paisagem natural e pastagem, as plantações e a pastagem, todos característicos dos locais com prática de agricultura.

A Figura 133a mostra a distribuição de emissões de acordo com o tipo de cobertura vegetal para todo o estado de Santa Catarina. Já a Figura 13b mostra que ao somar os quatro tipos de cobertura características da agricultura (savana, pastagem, plantações e mosaico de paisagem natural e plantações), o valor das emissões é maior do que os da cobertura tipo floresta. Isso mostra a gravidade das queimadas agrícolas, que mesmo estando em locais de cobertura com baixa carga de biomassa a ser queimada, ainda assim emitem mais poluentes.

Por último, destaque para o material particulado, prejudicial à saúde humana, que aparece como o terceiro poluente mais emitido em todas as coberturas.



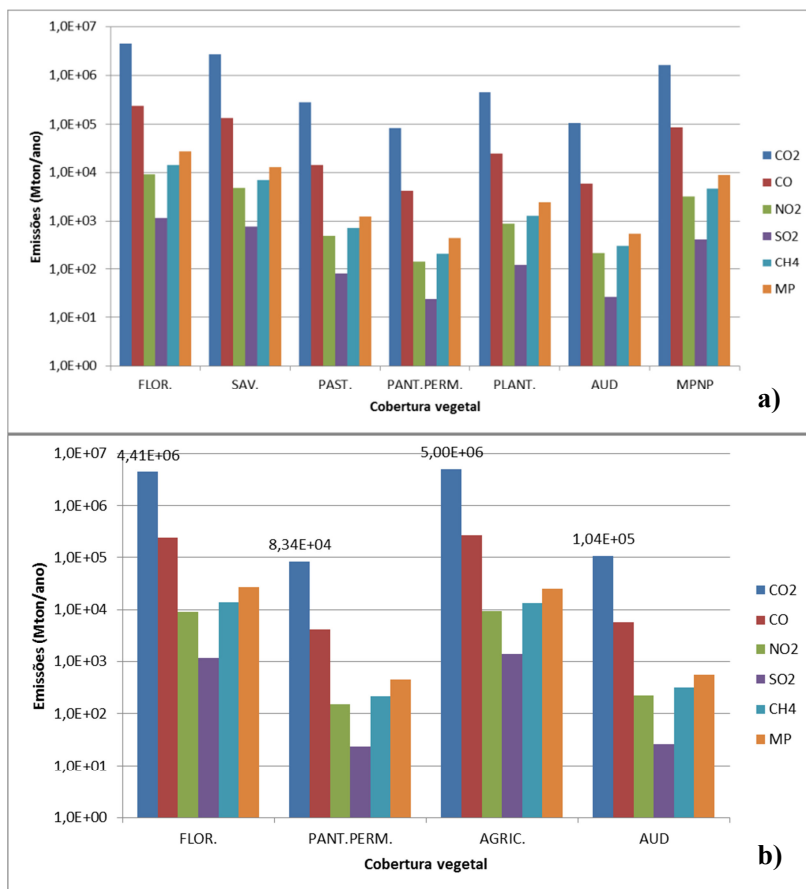


Figura 13. a) Emissões de acordo com o tipo de cobertura vegetal em Santa Catarina para o ano de 2016. b) Emissões de acordo com o tipo de cobertura vegetal, compilando as coberturas de agricultura. Dados em escala logarítmica de base 10.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Santa Catarina é o décimo estado brasileiro com maior número de focos de calor, sendo que em 2016 quase 4,5% da sua área territorial foi queimada, para efeitos de comparação isso corresponde a aproximadamente 407 mil campos de futebol. As regiões mais atingidas foram serra e oeste, regiões com cobertura vegetal predominantemente composta por savana e pastagem, com sua economia majoritariamente centrada nas atividades agrícolas e de pecuária.

Outro fator observado foi que o número de focos cresce entre os meses de Junho a Setembro, meses que antecedem o novo plantio das culturas mais praticadas no estado (milho, soja e mandioca), corroborando para a hipótese de que a prática das queimadas no preparo do solo é responsável pelos focos de calor detectados pelo sistema MODIS e, conseqüentemente, pelas emissões a eles relacionadas.

Só no ano de 2016 foi estimada a emissão de 9,61 Mton de dióxido de carbono, quase o equivalente à produção de energia nos complexos do grupo Eletrobrás nesse mesmo ano (11,06Mton). Além disso, foram emitidas 52,3 kton de material particulado de diâmetro 10 µm, o qual de acordo com os estudos apresentados tem efeito direto sobre a saúde da população exposta. Foram emitidas ainda 27 kton de metano, conhecido como um dos gases do efeito estufa.

Dessa forma, é perceptível o impacto que as queimadas agrícolas têm nas emissões de poluentes atmosféricos, e a necessidade de que se estabeleçam medidas de controle para essa prática.

Ideias de estudos futuros acerca dessa temática podem ser a investigação da natureza da quantidade de focos presentes em coberturas vegetais do tipo floresta no estado de Santa Catarina. Avaliação da série histórica dos focos detectados em Santa Catarina e o tipo de cobertura vegetal atingida por estes, para ver se o comportamento permanece o mesmo ao longo dos anos. Estudos de dispersão para averiguar os locais mais suscetíveis aos impactos dos poluentes. O estudo de dispersão visa averiguar o comportamento do poluente quando emitido na atmosfera, isto é, o traço de deslocamento desse poluente. Dessa forma, a população localizada ao longo desse deslocamento seria a mais suscetível aos impactos desses poluentes. Comparação do modelo FINN com os outros modelos descritos no projeto SAMBBA, apresentado neste trabalho, para os focos de calor detectados no estado de Santa Catarina, de forma a avaliar os modelos mais representativos, visto que o FINN tem deficiências conhecidas. Utilização do mapa de uso do solo

disponibilizado pelo Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina, para ver se os resultados são similares. Realizar estudos de monitoramento nas regiões mais afetadas de forma a identificar se os padrões de qualidade do ar estão dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 03/1990. Por fim, estudos que visem identificar a influência de parâmetros meteorológicos nas emissões.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Handerson Handnelle de Almeida. **A DIFERENÇA ENTRE A CULTURA TEMPORÁRIA E A PERMANENTE**. 2012. Disponível em: <<http://www.iaulas.com.br/site/arquivo/10920/textos/artigos/a-diferenca-entre-a-cultura-temporaria-e-a-permanente.html>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ARTAXO, Paulo et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazonica**, São Paulo, v. 35, n. 2, p.185-196, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v35n2/v35n2a08>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas**: Relatório Final. Brasília: S.i., 2012b. 53 p. Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/08/inventario-ferroviario02.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

BRASIL. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Qualidade do Ar**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/plano-nacional-de-qualidade-do-ar>>. Acesso em: 29 set. 2017.

BRASIL. GOVERNO DO BRASIL. **Conheça os biomas brasileiros**: Diversidade biológica. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.. **Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012..** Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 29 set. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS**. Brasília, 2011. 111 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**. 2018a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**. 2018b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

BRASIL. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1991. **Resolução/conama/n.º 003 de 28 de Junho de 1990**. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

CANAL RURAL (Brasil). **Calendário Agrícola: veja qual o melhor período para o plantio e colheita das principais culturas do país**. 2014. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/calendario-agricola-veja-qual-melhor-periodo-para-plantio-colheita-das-principais-culturas-pais-900>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

CARCARÁ, Maria do Socorro Monteiro; MOITA NETO, José Machado. **QUEIMADAS RURAIS: NECESSIDADE TÉCNICA OU QUESTÃO CULTURAL?** 2017. Disponível em: <<https://www.sigaa.ufpi.br/sigaa/verProducao?idProducao=638954&key=589bc289f091a4e76f5787e8c3ba732e>>. Acesso em: 29 set. 2017.

CHANNAN, S., COLLINS, K., and EMANUEL, W.R. 2014. **Global mosaics of the standard MODIS land cover type data**. University of Maryland and the Pacific Northwest National Laboratory, College Park, Maryland, USA.

CORRÊA, Altir. **Quinhentos Anos de Degradação - (Ocorrências de 1500-2000)**. 2005. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20051202071534/http://www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna12/coluna12.html>>. Acesso em: 01 out. 2017.

ELETROBRÁS (Brasil). **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa**: ano base 2016. Rio de Janeiro: S.I., 2017. 28 p. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/MeioAmbiente/Inventario-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa-das-Empresas-Elektrobras-2016.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

FEITOSA, José Cordeiro; TROVÃO, José Ribamar. **Atlas Escolar do Maranhão**: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset; 2006.

GHUDE, Sachin D. et al. Reductions in India's crop yield due to ozone. **Geophysical Research Letters**, [s.l.], v. 41, n. 15, p.5685-5691, 14 ago. 2014. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/2014gl060930>. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014GL060930>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

IBGE. **Censo Agropecuário**: 2006. 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/24/27745>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

IBGE. **Santa Catarina**. 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

IGNOTTI, Eliane et al. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, [s.l.], v. 44, n. 1, p.121-130, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102010000100013>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Queimadas: Perguntas Frequentes**. 2018. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

KANSKI, Alison. **The World's Greenhouse Gas Emissions in One Graphic**. 2015. Disponível em: <<http://www.climatecentral.org/news/greenhouse-gas-emissions-by-country-19167>>. Acesso em: 29 set. 2017.

LOPES, Sérgio de Faria; VALE, Vagner Santiago do; SCHIAVINI, Ivan. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p.695-704, 29 maio 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n4/v33n4a12.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.

LORENZO, Juan Manuel Fernández et al. INFLUENCIA DAS QUEIMADAS NO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NOS MUNICIPIOS DE BOTUCATU E PIRACICABA, ESTADO DE SÃO PAULO. **Irriga**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.168-178, 31 ago. 2015. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p168>.

MACHADO, Carlos Augusto. DESMATAMENTOS E QUEIMADAS NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 43, p.217-229, out. 2012. Disponível em: <[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2012\\_Machado\\_DesmatamentosQueimadasTO\\_CG\\_DE3os.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2012_Machado_DesmatamentosQueimadasTO_CG_DE3os.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2017.

MATO GROSSO. GOVERNO DE MATO GROSSO. Economia. 2015. Disponível em: <<http://www.mt.gov.br/economia>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

MOUVIER, Gerard. **A poluição atmosférica**. São Paulo: Atica, 1997. 104p. (Dominio) ISBN 8508066341 : (Broch.).

OLIVEIRA, Beatriz Fátima Alves de; IGNOTTI, Eliane; HACON, Sandra S.. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, [s.l.], v. 27, n. 9, p.1678-1698, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2011000900003>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Ambient air pollution - a major threat to health and climate**. 2018. Disponível em: <<http://www.who.int/airpollution/ambient/en/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **CONHEÇA O NOSSO PARÁ: ECONOMIA**. 2010. Disponível em: <[http://www.pa.gov.br/O\\_Para/economia.asp](http://www.pa.gov.br/O_Para/economia.asp)>. Acesso em: 30 mar. 2018.

PARANÁ. INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Fontes de Poluição Atmosférica**. 2018. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1415.html>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PEREIRA, Gabriel et al. Análise das áreas queimadas e das emissões dos gases do efeito estufa no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro – Santa Catarina. **Geosul**, [s.l.], v. 24, n. 47, p.113-130, 20 nov. 2009. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2009v24n47p113>.

PEREIRA, Gabriel et al. Assessment of fire emission inventories during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) experiment. **Atmospheric Chemistry And Physics**, [s.l.], v. 16, n. 11, p.6961-6975, 7 jun. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-6961-2016>.

SCOLARI, Dante D. G.. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/417182/producao-agricola-mundial-o-potencial-do-brasil>>. Acesso em: 29 set. 2017.

SHI, Yusheng et al. Comparison of global inventories of CO<sub>2</sub> emissions from biomass burning during 2002–2011 derived from multiple satellite



products. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 206, p.479-487, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.009>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974911530004X>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

SILVA, Ageo Mario Candido da et al. Material particulado originario de queimadas e doenças respiratorias. **Revista de Saúde Pública**, [s.l.], v. 47, n. 2, p.345-352, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-8910.2013047004410>.

STRAHLER, Alan. et al. 1999. **MODIS Enhanced Land Cover and and Cover Change Product Algorithm Theoretical Basis Documents (ATBD) Version 5.0**. Departamento de Geografia, Universidade de Boston, Boston. Disponível em: <[https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod12.pdf](https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf)>. Acesso em: 21 Mar. 2018

TEIXEIRA, Nathan Campos. et al. **ANÁLISE PRELIMINAR DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS E CHUVAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Florianópolis: S.I., 2017. 8 p. Disponível em: <[http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-521\\_analise-preliminar-da-relacao-entre-queimadas-e-chuvas-no-estado-de-santa-catarina](http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-521_analise-preliminar-da-relacao-entre-queimadas-e-chuvas-no-estado-de-santa-catarina)>. Acesso em: 31 mar. 2018.

TWARDOWSKI, Cristiano. et al. **REPRESENTATIVIDADE DE SANTA CATARINA NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: SÉRIE HISTÓRICA 2005 A 2015**. In: MOSTRA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA IFC, 4., 2015, Araquari. Araquari: Ifc, 2015. 4 p. Disponível em: <<http://eventos.ifc.edu.br/mctepex/wp-content/uploads/sites/13/2016/03/REPRESENTATIVIDADE-DE-SANTA-CATARINA-NO-AGRONEGOCIO-BRASILEIRO-SERIE-HISTORICA-2005-A-2015.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.

URBANSKI, S. P.; HAO, W. M.; NORDGREN, B.. The wildland fire emission inventory: western United States emission estimates and an evaluation of uncertainty. **Atmospheric Chemistry And Physics**, [s.l.], v. 11, n. 24, p.12973-13000, 20 dez. 2011. Copernicus GmbH.

<http://dx.doi.org/10.5194/acp-11-12973-2011>. Disponível em:  
<<https://www.atmos-chem-phys.net/11/12973/2011/acp-11-12973-2011.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

WIEDINMYER, C. et al. The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning. **Geosci. Model Dev.**, Estados Unidos, n. 4, p.625-641, 20 jul. 2011. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/4/625/2011/>>. Acesso em: 02 ago. 2017.



**ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE  
COBERTURA VEGETAL DO SISTEMA MODIS.  
(STRAHLER ET AL., 1999)**

| <b>Sigla</b> | <b>Classificação</b>                | <b>Definição</b>  |
|--------------|-------------------------------------|---|
| AG           | Água                                | Oceanos, mares, lagos, reservatórios e rios. Pode ser água doce ou salgada.   |
| FPC          | Floresta perenifolia<br>conífera    | Terras dominadas por árvores com um percentual de cobertura de copas > 60% e altura superior a 2 metros. Quase todas as árvores permanecem verdes todo o ano. A copa nunca está sem folhagem verde.   |
| FPL          | Floresta perenifolia<br>latifoliada |   |
| FDC          | Floresta decídua<br>conífera        | Terras dominadas por árvores com um percentual de cobertura de copas > 60% e altura superior a 2 metros. Consiste em comunidades de árvores sazonais, com um ciclo anual de renovação de folhas.  |
| FDL          | Floresta decídua<br>latifoliada     |   |
| FM           | Floresta Mista                      | Terras dominadas por árvores com uma cobertura de copas > 60% e altura superior a 2 metros. Consiste em comunidades de árvores com misturas intercaladas ou mosaicos dos quatro tipos anteriores de cobertura florestal. Nenhum dos tipos de floresta excede 60% da paisagem. |
| MF           | Matagal fechado                     | Terrenos com vegetação lenhosa com menos de 2 metros de altura e com cobertura de arbustos > 60%. A folhagem arbórea pode ser perenifolia ou decídua.   |
| MA           | Matagal aberto                      | Terrenos com vegetação lenhosa com menos de 2 metros de altura e com coberturas de arbustos entre 10-60%. A folhagem arbórea pode ser perenifolia ou decídua.   |
| SAV.A        | Savanas arborizadas                 | Terras com sistemas herbáceos e outras coberturas rasteiras, com cobertura da   |

|        |  |  |
|--------|--|--|
|        |  | floresta entre 30-60%. A altura da cobertura florestal excede 2 metros.  |
| SAV    | Savanas                                  | Terras com sistemas herbáceos e outras coberturas rasteiras, com cobertura de floresta entre 10-30%. A altura da cobertura florestal ultrapassa 2 metros.          |
| PAST.  | Pastagem                                 | Terrenos com tipos herbáceos de cobertura. Cobertura de árvores e arbustos é inferior a 10%.   |
| PÂNT.P | Pântano permanente                       | Terrenos com uma mistura permanente de água e vegetação herbácea ou lenhosa que abrange áreas extensas. A vegetação pode estar presente em água salgada ou fresca. |
| PLANT. | Plantações                               | Terras cobertas com culturas temporárias seguidas de colheita e um período de solo desencapado (por exemplo, sistemas de cultivo simples e múltiplo).              |
| AUD    | Área urbana ou em desenvolvimento        | Terrenos cobertos por edifícios e outras estruturas artificiais.   |
| MPNP   | Mosaico de paisagem natural e plantações | Terras com um mosaico de terras cultivadas, florestas, arbustos e pastagens em que nenhum componente compreende mais de 60% da paisagem.                           |
| NG     | Neve e gelo                              | Terrenos sob neve e/ou cobertura de gelo ao longo do ano.  |
| VE     | Vegetação esparsa                        | Terras de solo exposto, areia, rochas ou neve e nunca mais tem do que 10% de cobertura vegetal durante qualquer período do ano.                                    |

**ANEXO B - ESTIMATIVA DE EMISSÕES DO MODELO FINN DOS  
POLUENTES CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> E MP<sub>2,5</sub> PARA CADA  
ESTADO BRASILEIRO NO ANO DE 2016.**

|                     | UF        | CO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | NO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | SO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | CH <sub>4</sub><br>(Mton/<br>ano) | MP <sub>2,5</sub><br>(Mton/<br>ano) |
|---------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Norte</b>        | <b>PA</b> | 159,66                            | 0,35                              | 0,04                              | 0,48                              | 867,19                              |
|                     | <b>AM</b> | 101,54                            | 0,22                              | 0,02                              | 0,31                              | 560,82                              |
|                     | <b>RO</b> | 58,04                             | 0,13                              | 0,01                              | 0,17                              | 315,83                              |
|                     | <b>AC</b> | 53,64                             | 0,12                              | 0,01                              | 0,16                              | 295,18                              |
|                     | <b>RR</b> | 45,54                             | 0,10                              | 0,01                              | 0,14                              | 249,52                              |
|                     | <b>TO</b> | 15,84                             | 0,03                              | 0,00                              | 0,02                              | 59,90                               |
|                     | <b>AP</b> | 8,79                              | 0,02                              | 0,00                              | 0,03                              | 47,28                               |
| <b>Nordeste</b>     | <b>MA</b> | 23,76                             | 0,05                              | 0,01                              | 0,05                              | 105,26                              |
|                     | <b>BA</b> | 8,35                              | 0,02                              | 0,00                              | 0,01                              | 35,02                               |
|                     | <b>PI</b> | 7,04                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,01                              | 24,17                               |
|                     | <b>CE</b> | 2,91                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,00                              | 9,55                                |
|                     | <b>PE</b> | 0,93                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 3,08                                |
|                     | <b>AL</b> | 0,68                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 2,31                                |
|                     | <b>PB</b> | 0,63                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 2,06                                |
|                     | <b>RN</b> | 0,44                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 1,42                                |
|                     | <b>SE</b> | 0,16                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,53                                |
| <b>Centro-Oeste</b> | <b>MT</b> | 83,53                             | 0,18                              | 0,02                              | 0,23                              | 424,74                              |
|                     | <b>MS</b> | 6,26                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,01                              | 27,41                               |
|                     | <b>GO</b> | 5,97                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,01                              | 21,32                               |
| <b>Sudeste</b>      | <b>SP</b> | 6,91                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,02                              | 30,53                               |
|                     | <b>MG</b> | 7,38                              | 0,01                              | 0,00                              | 0,01                              | 29,28                               |
|                     | <b>ES</b> | 1,16                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 5,15                                |
|                     | <b>RJ</b> | 0,97                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 4,06                                |

|     | UF | CO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | NO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | SO <sub>2</sub><br>(Mton/<br>ano) | CH <sub>4</sub><br>(Mton/<br>ano) | MP <sub>2,5</sub><br>(Mton/<br>ano) |
|-----|----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Sul | PR | 14,54                             | 0,03                              | 0,00                              | 0,04                              | 75,48                               |
|     | SC | 9,61                              | 0,02                              | 0,00                              | 0,03                              | 52,38                               |
|     | RS | 8,71                              | 0,02                              | 0,00                              | 0,02                              | 45,34                               |

**ANEXO C – ESTIMATIVA DE EMISSÕES DO MODELO  
FINN DOS POLUENTES CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> E  
MP<sub>2,5</sub> POR ÁREA TERRITORIAL PARA CADA  
ESTADO BRASILEIRO NO ANO DE 2016.**

|                 | UF        | CO <sub>2</sub><br>(ton/km <sup>2</sup> ) | NO <sub>2</sub><br>(ton/km <sup>2</sup> ) | SO <sub>2</sub><br>(ton/km <sup>2</sup> ) | CH <sub>4</sub><br>(ton/km <sup>2</sup> ) | MP <sub>2,5</sub><br>(ton/km <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-----------|---|---|---|---|---|
| <b>Norte</b>    | <b>PA</b> | 127,938                                   | 0,278                                     | 0,031                                     | 0,383                                     | 0,695                                       |
|                 | <b>AM</b> | 65,126                                    | 0,142                                     | 0,016                                     | 0,201                                     | 0,360                                       |
|                 | <b>RO</b> | 244,120                                   | 0,531                                     | 0,060                                     | 0,734                                     | 1,328                                       |
|                 | <b>AC</b> | 326,842                                   | 0,714                                     | 0,080                                     | 1,003                                     | 1,799                                       |
|                 | <b>RR</b> | 203,053                                   | 0,443                                     | 0,050                                     | 0,618                                     | 1,112                                       |
|                 | <b>TO</b> | 57,043                                    | 0,109                                     | 0,016                                     | 0,081                                     | 0,216                                       |
|                 | <b>AP</b> | 61,569                                    | 0,132                                     | 0,015                                     | 0,180                                     | 0,331                                       |
| <b>Nordeste</b> | <b>MA</b> | 71,577                                    | 0,143                                     | 0,019                                     | 0,144                                     | 0,317                                       |
|                 | <b>BA</b> | 14,790                                    | 0,028                                     | 0,004                                     | 0,026                                     | 0,062                                       |
|                 | <b>PI</b> | 27,985                                    | 0,051                                     | 0,008                                     | 0,029                                     | 0,096                                       |
|                 | <b>CE</b> | 19,556                                    | 0,037                                     | 0,006                                     | 0,019                                     | 0,064                                       |
|                 | <b>PE</b> | 9,448                                     | 0,018                                     | 0,003                                     | 0,010                                     | 0,031                                       |
|                 | <b>AL</b> | 24,488                                    | 0,050                                     | 0,007                                     | 0,040                                     | 0,083                                       |
|                 | <b>PB</b> | 11,210                                    | 0,021                                     | 0,003                                     | 0,010                                     | 0,036                                       |
|                 | <b>RN</b> | 8,335                                     | 0,016                                     | 0,002                                     | 0,008                                     | 0,027                                       |



|                     | <b>UF</b> | <b>CO<sub>2</sub></b><br><b>(ton/km<sup>2</sup>)</b> | <b>NO<sub>2</sub></b><br><b>(ton/km<sup>2</sup>)</b> | <b>SO<sub>2</sub></b><br><b>(ton/km<sup>2</sup>)</b> | <b>CH<sub>4</sub></b><br><b>(ton/km<sup>2</sup>)</b> | <b>MP<sub>2,5</sub></b><br><b>(ton/km<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------|-----------|--|--|--|--|--|
|                     | <b>SE</b> | 7,517  | 0,014  | 0,002  | 0,008  | 0,024  |
| <b>Centro-Oeste</b> | <b>MT</b> | 92,485   | 0,198  | 0,023  | 0,255  | 0,470  |
|                     | <b>MS</b> | 17,533   | 0,028  | 0,006  | 0,026  | 0,077  |
|                     | <b>GO</b> | 17,548   | 0,033  | 0,005  | 0,024  | 0,063  |
|                     |           |  |  |  |  |  |
| <b>Sudeste</b>      | <b>SP</b> | 27,819   | 0,057  | 0,008  | 0,066  | 0,123  |
|                     | <b>MG</b> | 12,581   | 0,022  | 0,004  | 0,019  | 0,050  |
|                     | <b>ES</b> | 25,213   | 0,050  | 0,007  | 0,053  | 0,112  |
|                     | <b>RJ</b> | 22,216   | 0,042  | 0,006  | 0,038  | 0,093  |
| <b>Sul</b>          | <b>PR</b> | 72,928   | 0,150  | 0,019  | 0,202  | 0,379  |
|                     | <b>SC</b> | 100,377  | 0,197  | 0,027  | 0,281  | 0,547  |
|                     | <b>RS</b> | 30,932   | 0,060  | 0,009  | 0,081  | 0,161  |